



Università di Pisa
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Facoltà di Agraria

Corso di Laurea in Scienze Ambientali
Anno Accademico 2002/2003

Progetto sperimentale di tesi elettronica
<http://etd.adm.unipi.it/>

RIASSUNTO

TESI DI LAUREA

Ideazione ed utilizzo di un indice per il confronto di alternative di smaltimento dei rifiuti: il caso della Garfagnana

Abstract

La tesi si prefigge come obiettivo la creazione ed il conseguente utilizzo di un indice composito, con il fine di determinare la migliore alternativa di smaltimento di rifiuti, partendo da un insieme più o meno ampio di ipotesi iniziali. L'indice in questione è stato elaborato secondo la recente metodologia codificata dal centro JRC della Comunità Europea, divenuto oggi uno dei centri guida in tema di creazione ed utilizzo degli indici compositi. Mediante la creazione di questo strumento, basata su 8 passaggi matematici e logici, si riesce ad ordinare in base alla sostenibilità le alternative di smaltimento dei rifiuti considerate inizialmente, tenendo conto di fattori sia ambientali (principalmente emissioni atmosferiche di svariate specie chimiche pericolose per l'uomo e l'ambiente) sia economici (costo di smaltimento per ogni tonnellata di rifiuto, energia eventualmente prodotta) opportunamente pesati ed aggregati secondo la metodologia sopra menzionata. La tesi è suddivisa in due parti, una introduttiva e generica che fornisce la base metodologica, l'altra applicazione di quest'ultima al caso della Garfagnana (Provincia di Lucca), dove si è arrivati al confronto di 5 alternative (identificate e descritte nel primo capitolo della seconda parte) mediante l'indice composito generalmente descritto nella prima parte. Fra le alternative confrontate sono risultate preferibili le alternative riguardanti la termovalorizzazione con contemporanea costruzione di un impianto umido secco. La seconda parte è intesa come ausilio per la comprensione della prima.

Candidato:
Thomas Cappelletti

Relatore:
Chiar.mo Prof. Leonardo Tognotti

Questa tesi prova ad asservire un utile strumento di indagine e di conoscenza, l'indice composito, al confronto di molteplici alternative di smaltimento dei rifiuti, generalmente fra loro assai diverse per ciò che concerne le implicazioni ambientali, economiche e sociali. Nel contesto di indecisione presente in molte realtà italiane, si è ritenuto interessante elaborare uno strumento che aiuti a descrivere in maniera più scientifica e riproducibile le diversità intercorrenti tra diversi metodi adottabili ai fini di smaltimento dei rifiuti, in maniera che sia possibile in diverse circostanze, alle quali la metodologia di creazione dell'indice si adatta al fine di "localizzare" nella scala opportuna la gestione del ciclo dei rifiuti, decidere cosa sia ambientalmente ed economicamente conveniente fare. Lungi dal fornire un quadro esaustivo di tutti i comportamenti ambientali toccati dalla risorsa rifiuto, l'indice elabora i dati provenienti dalle emissioni atmosferiche (considerate da chi scrive come le più pericolose a livello di salute pubblica ed a livello ambientale) e dai quantitativi di scorie ottenute nello smaltimento dei rifiuti unendoli a dati elaborati per il settore concernente l'economia, quest'ultimi relativi al costo di smaltimento dei rifiuti ed alla eventuale energia prodotta.

Il fine è di condensare le informazioni in un unico numero, stante ad indicare il carico ambientale ed economico di ciascuna alternativa: od in altre parole la sua sostenibilità. Si ritiene interessante l'adozione di un indice in quanto il suo impiego presenta evidenti vantaggi comunicativi, derivanti dalla sua intrinseca semplicità, e di confronto, derivanti dal fatto che condensa un fenomeno in un numero. Si reputa quindi che possa essere d'aiuto, se non altro perché diverse alternative, condensabili in un unico valore, possono essere ordinate appunto in virtù di questo valore che le rappresenta. L'indice presenta altresì dei problemi, sia da un punto di vista costruttivo, circa la sua costruzione e la standardizzazione di tale processo, sia dal punto di vista di rappresentatività, in quanto ha un errore intrinseco dovuto al fatto con il suo utilizzo si condensa una realtà, si approssima un fenomeno. Stabilire inoltre il grado di affidabilità non è semplice, in quanto si devono considerare molti fattori, dipendenti ed indipendenti dallo stesso indice composito. Il processo di creazione di un indice è composto da vari passaggi, alcuni prettamente matematici, altri che possono favorire un grado di soggettività eccessivo: il Joint Research Center, alle dipendenze della Comunità Europea, ha da tempo intrapreso la strada della standardizzazione della creazione di un indice, per diversi motivi e con diversi obiettivi. L'interesse principale di questo centro di ricerca verte verso la standardizzazione di cui sopra per fini di confronto fra stati, appartenenti e non alla comunità europea, e si riferisce quindi ad ambiti principalmente economici. Essendo comunque un indice un'entità matematica, si è deciso di adottare la metodologia di creazione proposta dal JRC essendo questa oramai di riferimento in molti studi presentati in molteplici settori. L'indice fonda le sue basi su dati numerici, od indicatori (anche se è riduttivo identificare un indicatore unicamente con numero) che rappresentano diversi aspetti della realtà descritta precedentemente che si è inteso rappresentare: nel nostro caso specifico si è deciso di adottare come indicatori 12 differenti tipi di inquinante, fra cui: **CO** (monossido di carbonio), **CO₂** (anidride carbonica), **NO_x** (ossidi di azoto), **SO_x** (ossidi di zolfo), **PCDD** e **PCDF** (diossine), **IPA** (idrocarburi policiclici aromatici), **HCl** (acido cloridrico), **polveri**, **metalli pesanti** (tra i quali Cd, Zn, Cu, Cr, Ni), **COV** (composti organici volatili), **CH₄** (metano) e **scorie**, che sono normali prodotti della combustione (nel nostro caso riferita all'incenerimento ed al trasporto) e della decomposizione (nel nostro caso riferita a discariche) e 3 indicatori per così dire indiretti concernenti gli aspetti economici: **Produzione energetica specifica netta per tonnellata di combustibile incenerito [MWh/ton]**, **Bilancio energetico complessivo: produzione di corrente elettrica al netto degli autoconsumi [KWh]**, **Costo di smaltimento per tonnellata di rifiuto trattata [€/ton]**.

Le informazioni fornite da tali indicatori sono i mattoni con i quali si costruisce l'indice, e per continuare la metafora, la malta che consolida i mattoni risulta essere l'insieme di

passaggi matematici e logici che salda assieme questi mattoni e permette di arrivare ad "erigere" l'indice finale.

La tesi che questo riassunto presenta è suddivisa in due parti, in una si provvederà a fornire la basi della metodologia in generale (prima parte) e nell'altra si applicherà questa ad un caso specifico, quello della Garfagnana, zona montana localizzata nel nord della Toscana (seconda parte).

La **prima parte**, suddivisa in tre capitoli, fornisce le nozioni per giungere al calcolo dei valori degli indicatori nei differenti casi che si possono presentare in relazione ai diversi metodi di smaltimento dei rifiuti ed illustra le basi teoriche relative alla costruzione di un indice.

Nel **capitolo uno** si fornisce una guida a quella che si considera come l'analisi delle criticità locali: mediante lo studio di esse si riesce a delineare un quadro delle alternative di smaltimento dei rifiuti plausibile per l'area soggetta allo studio. I parametri che danno origine alle criticità locali sono stati identificati sia in fattori "fisici" (morfologia del territorio, aspetti meteorologici, demografia, viabilità, presenza e funzionamento di impianti di raccolta e smaltimento dei rifiuti) sia in fattori sociali (normative vigenti, organizzazione della ATO cui l'area è soggetta, analisi del ciclo dei rifiuti per la zona imputata). La combinazione di essi, mediante la serie di passaggi del capitolo primo che forma lo studio delle criticità, da origine a quest'ultime. In questa fase quindi si cerca di ridurre la rosa possibile di alternative di smaltimento di rifiuti a quelle pertinenti all'area valutata, in base ai criteri di cui sopra per l'area, da analizzare successivamente mediante l'indice.

Nel **secondo capitolo** si fornisce una base teorica sugli indicatori e gli indici composti, si scelgono con motivazione i 15 indicatori prima illustrati e si fornisce una guida con relativi esempi circa il calcolo del valore di tali indicatori. Il calcolo comprende una computazione vera e propria in relazione agli indicatori misurati in alternative che presentano sistemi di campionamento in continuo o in relazione a campionamenti, al calcolo mediante opportune tabelle (elaborata da ANPA, da CORINAIR) per le alternative che non presentano tali campionamenti, al calcolo derivato dal confronto con altri impianti simili esistenti in Italia. Per motivi pratici sono state analizzate un numero di alternative generali non eccessivamente alto e corrispondenti alle tipologie più presenti sul territorio italiano. L'obiettivo del capitolo due è di ottenere una tabella finale formata dai valori degli indicatori per ogni alternativa, la quale permette il calcolo del successivo indice composito.

Il **capitolo terzo** illustra la creazione di un indice composito a partire dagli indicatori precedentemente menzionati, passando attraverso 8 passaggi matematici e logici al fine di ottenere un numero unico rappresentante ogni alternativa. I passaggi sono sequenziali e per ognuno di essi vengono spiegate le varie tecniche di calcolo attualmente presenti. Le tecniche presentate sono molteplici. L'ordine risultante alla disposizione in maniera crescente o decrescente del valore dell'indice per ogni alternativa dà la classificazione finale ricercata, in ordine di sostenibilità ambientale ed economica.

La **seconda parte** è volta invece all'applicazione dell'indice al caso concreto della Garfagnana, con i fini di fornire un esempio alla creazione ed utilizzo generale dell'indice e con il fine di affinare la metodologia su un caso concreto (durante la stesura si è rifinita la metodologia di creazione ed utilizzo sul caso reale, quindi non si è passati solo dalla prima alla seconda parte ma, in maniera meno marcata e frequente, anche dalla seconda alla prima parte).

Nel **capitolo quattro** si esegue l'analisi delle criticità richiesta dal capitolo primo sul territorio della valle, descrivendo tutti i fattori limitanti (morfologia, demografia, viabilità, normativa, impianti esistenti, ciclo dei rifiuti con quantificazione delle filiere e quanto altro) in maniera particolareggiata. L'analisi delle criticità risultanti, coincidenti con strade

con scarsa qualità, abitati molto frazionati, aspetti meteoclimatici caratterizzati da ampie escursioni stagionali rilevanti anche in magnitudo, presenza di centri storici con esigui spazi a disposizione, sia per passaggio che per stazionamento delle campane, la presenza di un termovalorizzatore funzionante, la mancanza di discariche, accordo con altra ATO (di Livorno) per la messa in discarica dell'eccesso di rifiuti smaltibili dal suddetto inceneritore, la volontà della provincia a dimettere l'impianto ed altri meno importanti ma nel complesso influenti sono confluite nella selezione di 5 alternative plausibili: (a) funzionamento tal quale del termovalorizzatore, (b) suo miglioramento mediante impianto di selezione umido secco, (c) chiusura dell'impianto e trasporto dei rifiuti tal quali presso la discarica REA di Rosignano, (d) conversione dell'impianto in combustore di biomasse con smaltimento dei rifiuti analogo alla precedente alternativa ed infine (e) dismissione dell'impianto con costruzione dell'impianto di selezione umido secco.

Nel **capitolo cinque**, prendendo i valori degli indicatori per le alternative calcolati in un'altra tesi a questa complementare (candidata Elisa Tadolini) si è proceduto con la creazione dell'indice composito.

Il primo passo è stato eseguire una analisi multivariata sul set di indicatori, con il fine di sincerarsi circa requisito che tale insieme descriva in maniera razionale le differenze tra alternative. In maniera razionale significa verificare (e poi magari elidere) la presenza di indicatori che portano lo stesso messaggio, cioè fra loro collineari. Le analisi eseguite (ACP, Analisi delle componenti principali) e il calcolo del coefficiente di Cronbach hanno dato risultato confortante sulla razionalità dell'insieme di indicatori scelto.

Secondariamente, si sono normalizzati gli indicatori (la normalizzazione riguarda i differenti valori che ogni indicatore ha assunto nelle diverse alternative), mediante un sistema di pesatura detto "distanza dal migliore e dal peggiore valore", in maniera da poter confrontare i risultati ottenuti nei passaggi che seguiranno: nel set di indicatori erano presenti divari in termini di ordini di grandezza di molte unità di misura (notevole ad esempio per quanto riguarda CO₂ e diossine).

Dopo aver normalizzato gli indicatori si è passati alla loro pesatura, che mira ad attribuire ad ogni indicatore un peso più o meno rilevante. La pesatura è stata svolta tra indicatori appartenenti al medesimo dei due "settori" nei quali sono stati suddivisi: ambientale ed economico. Nel nostro caso si sono fatte pesare in maniera maggioritaria composti quali diossine, metalli pesanti, polveri, CO₂, per la parte ambientale, costo €/tonn relativo allo smaltimento dei rifiuti per la parte economica. I coefficienti di pesatura sono stati ottenuti mediante applicazione della metodologia AHP elaborata da Saaty, che comporta il calcolo di un indice finale teso a verificare la bontà della pesatura ottenuta. Dopo la pesatura degli indicatori, si sono aggregati, moltiplicando prima il coefficiente di pesatura per ogni indicatore, ottenuto mediante applicazione dell'AHP, per il valore normalizzato di ogni singoli indicatore, poi si sono sommati i valori ottenuti per ogni alternativa, ottenendo il punteggio ambientale ed economico per ognuna di esse. Infine si sono sommati i valori ambientali ed economici. Ordinandoli, si è ottenuta la classifica ricercata. Nel caso esaminato, l'alternativa migliore è risultata essere la (b), seguita dalla (e), dalla (a), (d), (c).

Concludendo, si può dire che l'indice presenta notevoli vantaggi in fatto di sintesi delle informazioni (i dati originali erano i valori di ogni indicatore per ogni alternativa, cioè una matrice di 15X5, impossibile da valutare direttamente) e del loro ordinamento, ai fini proposti precedentemente. Esso però presenta l'introduzione di errori dovuti ai metodi utilizzati sia per la normalizzazione, sia per la pesatura. Si deve quindi prestare attenzione ed intendere l'indice come strumento per avere una stima approssimata, che può dare origine secondariamente a studi più approfonditi, che d'altra parte richiedono tempi e costi ben maggiori.